

**PENGUBAHSUAIAN SENIBINA RANGKAIAN NEURAL SECARA BERHIRARKI
DALAM PENENTUAN JENIS DAN KUALITI AIR SUNGAI**

oleh

FAKROUL RIDZUAN BIN HASHIM

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana**

Jun 2007

PENGHARGAAN

Dengan nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji bagi Allah s.w.t kerana dengan rahmat dan izinNya saya telah berjaya menyiapkan penyelidikan dan tesis ini sebagai memenuhi keperluan pengijazahan peringkat sarjana.

Saya ingin mengucapkan setinggi-tinggi ucapan terima kasih kepada Dr. Nor Ashidi Mat Isa selaku penyelia utama dan Dr. Wan Maznah Wan Omar serta Pn Dzati Athiar Ramli selaku penyelia bersama. Segala tunjuk ajar, nasihat, teguran dan dorongan yang telah diberikan menjadikan saya lebih matang dan mampu membuat keputusan dengan baik. Penyelidikan ini juga telah berjaya di siap hasil kerjasama yang tidak pernah jemu daripada penyelia-penyelia saya.

Tidak dilupakan buat emak dan ayah yang tidak putus-putus mendoakan kejayaan saya. Begitu juga dengan adik beradik dan kawan-kawan yang sentiasa membantu dari material serta buah fikiran. Tidak dilupakan teman hidup yang saban hari menuipkan semangat dalam menyiapkan penyelidikan ini. Nasihat dan semangat yang diberikan oleh kalian merupakan pendorong kepada saya untuk berusaha dengan gigih sehingga mencapai segala impian.

Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada seluruh warga Pusat Pengajian Kejuruteraan Elektrik dan Elektronik, USM yang telah banyak membantu secara langsung atau tidak langsung. Segala budi dan pertolongan yang telah dihulurkan akan saya hargai.

Sekian, wassalam.

SUSUNAN KANDUNGAN

	Muka surat
PENGHARGAAN	ii
SUSUNAN KANDUNGAN	iii
SENARAI JADUAL	vi
SENARAI RAJAH	vii
TERJEMAHAN ISTILAH	xii
SINGKATAN ISTILAH	xiv
SENARAI PENERBITAN DAN SEMINAR	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii

BAB SATU : PENGENALAN

1.1	Pengenalan Kepada Klasifikasi Kualiti Air Sungai	1
1.2	Penggunaan Rangkaian Neural dalam Menentukan Kualiti Air	2
1.3	Objektif dan Skop Penyelidikan	3
1.4	Garis Panduan Tesis	4

BAB DUA : KAJIAN ILMIAH

2.1	Pengenalan	6
2.2	Penentuan Kualiti Air Sungai	6
2.2.1	Klasifikasi Air Sungai	7
2.2.2	Kaedah Pengklasifikasian Kualiti Air	7
2.3	Spesis Alga	15
2.3.1	Kesan Spesis Alga Kepada Persekitaran	15
2.3.2	Penggunaan Spesis Alga Sebagai Penunjuk	16
2.3.3	Spesis Alga Sungai	17
2.4	Rangkaian Neural	18
2.4.1	Rangkaian Neuron Biologi	19
2.4.2	Rangkaian Neural Buatan	20
2.4.2.1	Pemodelan Neuron	21
2.4.2.2	Seni Bina	23
2.4.2.3	Proses Pembelajaran	25
2.4.3	Aplikasi Rangkaian Neural Buatan	27

2.4.3.1	Aplikasi Rangkaian Neural Dalam Menentukan Spesis Alga	28
2.4.3.2	Aplikasi Rangkaian Neural Dalam Menentukan Kualiti Air	29
2.5	Ringkasan	31

BAB TIGA : PENENTUAN KUALITI AIR SUNGAI MENGGUNAKAN RANGKAIAN NEURAL

3.1	Pengenalan	32
3.2	Penentuan Kualiti Air Sungai	33
3.2.1	Aplikasi Analisis Diskriminan	34
3.2.2	Tahap Keertian Pembolehubah Diskriminan	37
3.2.3	Kaedah Titik Pemisah	39
3.3	Rangkaian Fungsi Asas Jejarian	39
3.3.1	Seni Bina dan Ciri-ciri Rangkaian	40
3.3.2	Penempatan Pusat Rangkaian	42
3.3.3	Pemberat Sambungan Rangkaian	43
3.4	Rangkaian Perseptron Berbilang Lapisan	47
3.4.1	Seni Bina dan Ciri-ciri Rangkaian	48
3.4.2	Pemberat Sambungan Rangkaian	49
3.4.2.1	Algoritma Perambatan Balik	49
3.4.2.2	Algoritma Lavenberg Marquardt	51
3.4.2.3	Algoritma Bayesian Regularization	53
3.5	Rangkaian Perseptron Berbilang Lapisan Hibrid	55
3.5.1	Seni Bina dan Ciri-ciri Rangkaian	56
3.5.2	Pemberat Sambungan Rangkaian	58
3.6	Rangkaian Neural Berhirarki	61
3.7	Sampel Data	63
3.8	Metodologi	64
3.8.1	Penggunaan Analisis Diskriminan Dalam Penyelidikan	64
3.8.2	Penggunaan Rangkaian Neural Dalam Penyelidikan	70

BAB EMPAT : KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.1	Pengenalan	81
4.2	Analisa Diskriminan	81

4.2.1	Ujian Univariat	81
4.2.2	Ujian Multivariat	84
4.2.3	Fungsi Diskriminan	88
4.2.4	Penentuan Titik Pemisah	89
4.2.5	Prestasi Pengkelasan Data	91
4.3	Rangkaian Neural	92
4.3.1	Rangkaian Fungsi Asas Jejarian	93
4.3.2	Rangkaian Perseptron Berbilang Lapisan	98
4.3.2.1	Algoritma Latihan Perambatan Balik	98
4.3.2.2	Algoritma Latihan Lavenberg Marquardt	103
4.3.2.3	Algoritma Latihan Bayesian Regularization	109
4.3.3	Rangkaian Perseptron Berbilang Lapisan Hibrid	114
4.3.4	Rangkaian Perseptron Berbilang Lapisan Berhirarki	119
4.3.4.1	Algoritma Latihan Perambatan Balik	119
4.3.4.2	Algoritma Latihan Lavenberg Marquardt	124
4.3.4.3	Algoritma Latihan Bayesian Regularization	129
4.3.5	Rangkaian Perseptron Berbilang Lapisan Hibrid Berhirarki	135
4.4	Ulasan	135
4.5	Kesimpulan	147

BAB LIMA : KESIMPULAN

5.1	Kesimpulan	149
5.2	Cadangan-cadangan	152

SENARAI RUJUKAN	154
------------------------	------------

LAMPIRAN

Lampiran A : Jenis-jenis Alga yang Digunakan Di Dalam Penyelidikan	166
Lampiran B : Senarai Spesis Alga Dominan Dalam Penyelidikan	167

SENARAI JADUAL

Muka surat

BAB 4

4.1	Keputusan ujian univariat bagi parameter-parameter diskriminan	82
4.2	Keputusan ujian multivariat bagi keseluruhan parameter diskriminan	85
4.3	Pembolehubah tak bersandar yang dominan dan pekali diskriminan	88
4.4	Titik tengah bagi kumpulan-kumpulan kelas	89
4.5	Keputusan Pengkelasan	91
4.6	Perbandingan bilangan lelaran data latihan dan bilangan nod tersembunyi yang optimum serta nilai MSE terkecil di antara rangkaian RBF, MLP dilatih menggunakan algoritma latihan BP, LM dan BR, HMLP, HiMLP dilatih menggunakan algoritma latihan BP, LM dan BR serta H ² MLP	140
4.8	Perbandingan prestasi kejituan ramalan di antara rangkaian RBF, MLP dilatih menggunakan algoritma latihan BP, LM dan BR, HMLP, HiMLP dilatih menggunakan algoritma latihan BP, LM dan BR serta H ² MLP	140

SENARAI RAJAH

Muka surat

BAB 2

2.1	Gambarajah neuron biologi	20
2.2	Pemodelan neuron tak lurus	22
2.3	Rangkaian neural suap depan	24
2.4	Rangkaian neural suap balik	

BAB 3

3.1	Taburan normal yang baik dan taburan normal yang kurang baik bagi analisis diskriminan	35
3.2	Serakan data	36
3.3	Jumlah penindanan bagi paksi x dan paksi y	37
3.4	Jumlah penindanan bagi paksi baru	37
3.5	Seni bina rangkaian RBF	41
3.6	Seni bina rangkaian MLP	48
3.7	Seni bina rangkaian HMLP	57
3.8	Gambarajah blok rangkaian neural berhirarki	62
3.9	Gambarajah blok pengkelasan jenis dan kualiti air sungai menggunakan rangkaian RBF dan MLP	71
3.10	Gambarajah blok pengkelasan jenis dan kualiti air sungai menggunakan rangkaian HMLP bagi (a) jenis air tawar dengan kualiti air bersih, (b) jenis air tawar dengan kualiti air pertengahan, (c) jenis air tawar dengan kualiti air tercemar, (d) jenis air payau dengan kualiti air pertengahan dan (e) jenis air payau dengan kualiti air tercemar.	72
3.11	Gambarajah blok pengkelasan jenis dan kualiti air sungai menggunakan rangkaian HiMLP dan H^2 MLP	75
3.12	Cadangan paparan antaramuka sistem penentuan jenis dan kualiti air sungai	79

BAB 4

4.1	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian RBF berdasarkan peratus kejutuan melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	94
-----	---	----

4.2	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian RBF melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	95
4.3	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian RBF berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	96
4.4	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian MLP dengan algoritma latihan BP melawan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	97
4.5	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian MLP dengan algoritma latihan BP berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	99
4.6	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian MLP dengan algoritma latihan BP melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	100
4.7	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian MLP dengan algoritma latihan BP berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	101
4.8	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian MLP dengan algoritma latihan BP melawan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	102
4.9	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian MLP dengan algoritma latihan LM berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	105
4.10	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian MLP dengan algoritma latihan LM melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	106
4.11	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian MLP dengan algoritma latihan LM berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	107

4.12	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian MLP dengan algoritma latihan LM melawan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	108
4.13	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian MLP dengan algoritma latihan BR berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	110
4.14	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian MLP dengan algoritma latihan BR melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	111
4.15	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian MLP dengan algoritma latihan BR berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	112
4.16	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian MLP dengan algoritma latihan BR melawan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	113
4.17	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian HMLP berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	115
4.18	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian HMLP melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	116
4.19	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian HMLP berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	117
4.20	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian HMLP melawan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	118
4.21	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian HiMLP dengan algoritma latihan BP berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	120
4.22	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian HiMLP dengan algoritma latihan BP melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	121

4.23	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian HiMLP dengan algoritma latihan BP berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	122
4.24	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian HiMLP dengan algoritma latihan BP melawan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	123
4.25	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian HiMLP dengan algoritma latihan LM berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	125
4.26	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian HiMLP dengan algoritma latihan LM melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	126
4.27	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian HiMLP dengan algoritma latihan LM berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	127
4.28	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian HiMLP dengan algoritma latihan LM melawan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	128
4.29	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian HiMLP berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	131
4.30	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian HiMLP melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	132
4.31	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian HiMLP berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	133
4.32	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian HiMLP dengan algoritma latihan LM melawan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	134
4.33	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian H ² MLP berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	136

4.34	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian H^2 MLP melawan bilangan lelaran data latihan pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	137
4.35	Prestasi pengkelasan jenis dan kualiti air sungai rangkaian H^2 MLP berdasarkan peratus kejituan melawan bilangan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian	138
4.36	Graf nilai ralat kuasa dua purata (MSE) rangkaian H^2 MLP melawan bilangan nod tersembunyi pada (a) fasa latihan dan (b) fasa ujian.	139

TERJEMAHAN ISTILAH

Bahasa Inggeris

Adaptive channel equalizer
Adaptive Resonance Theory
Average Score Per Taxon
Backpropagation
Bio-chemical oxygen demand
Brackish-water
British Monitoring Working Party
Chemical oxygen demand
Chlorophyll
Clean
Computer Aided Design
Department of Environment
Dirty
Discriminant analysis
Dissolved oxygen
Enhanced thematic mapper
Feedback
Feedforward
Freshwater
Given least square
Gradient descent
Hard limiter
Hierarchical hybrid multilayered
perceptron
Hybrid multilayered perceptron

Bahasa Melayu

Pengimbang penguai saluran
Teori Penguaian Resonan
Skor Purata bagi Setiap Takson
Perambatan balik
Permintaan oksigen bio-kimia
Air Payau
Kumpulan Kerja Pemantauan British
Permintaan oksigen kimia
Klorofil
Bersih
Rekabentuk Terbantu Komputer
Jabatan Alam Sekitar
Kotor
Analisis diskriminan
Oksigen terlarut
Peningkat pemeta tematik
Suap belakang
Suap depan
Air tawar
Kuasa dua terkecil Given
Penurunan cerun
Pengehad tetap
Perseptron berbilang lapisan hibrid berhirarki
Perseptron berbilang lapisan hibrid

K-mean	Purata-K
K-nearest neighbor rule	Hukum jiran terdekat-k
Liquid crystal display	Paparan kristal cair
Maximum likelihood factor	Faktor kemungkinan maksimum
Mean square error	Purata ralat kuasa dua terkecil
Moderate	Pertengahan
Modified recursive prediction error	Ralat ramalan rekursi terubahsuai
Modified recursive prediction error	Ralat ramalan berulang terubahsuai
Multilayered Perceptron	Perseptron berbilang lapisan
Multivariable interpolation problem	Masalah penentu-dalaman berbilang pembolehubah
National Aerospace and Science Administration	Pengurusan Sains dan Angkasalepas Kebangsaan
Nearest neighbors	Jiran-jiran terdekat
Piece linear	Lelurus sesecebis
Polluted	Tercemar
Radial basis function	Fungsi asas jejarian
Recurrent neural network	Rangkaian neural separa pengulangan
Recursive prediction error	Ramalan ralat rekursi
Remote sensing	Penginderaan jauh
Salt-water	Air masin
Supervised learning	Pembelajaran terselia
Thematic mapper	Pemeta tematik
Time series	Siri-siri masa
Unsupervised learning	Pembelajaran tak terselia

SINGKATAN ISTILAH

ASPT	Skor Purata bagi Setiap Takson
BMWP	Kerja Pemantauan Pihak British
BOD	Permintaan Oksigen Boi-Kimia
BP	Perambatan Balik
BR	Bayesian Regularization
CAD	Rekabentuk Terbantu Komputer
COD	Permintaan Kimia Oksigen
DA	Analisis Diskriminan
DO	Oksigen Terlarut
DOE	Jabatan Alam Sekitar
ETM	Pemeta Tematik Tertingkat
GLS	Kuasa Dua Terkecil Given
H ² MLP	Perseptron Berbilang Lapisan Hibrid Berhirarki
HiMLP	Perseptron Berbilang Lapisan berhirarki
HMLP	Perseptron Berbilang Lapisan Hibrid
HSIL	Lesi intraepitelial skuamus gred tinggi
LM	Lavenbreg Marquardt
LSIL	Lesi intraepitelial skuamus gred rendah
MLP	Perseptron Berbilang Lapisan
MRPE	Ralat Ramalan Jadi Semula Ubahsuai
MSE	Ralat Kuasa Dua Purata
RBF	Rangkaian Asas Jejarian
RPE	Ralat Ramalan Jadi Semula
SS	Pepejal Terampai
TM	Pemeta Tematik

SENARAI PENERBITAN & SEMINAR

Seminar

Mat-Isa, N.A., Hashim, F.R., Mei, F.W., Ramli, D.A., Omar, W.M.W & Zamli, K.Z. (2006) Predicting Quality of River's Water Based on Algae Composition Using Artificial Neural Network. *IEEE International Conference on Industrial Informatics*, Pp 1340-1345.

Jurnal

Fakroul Ridzuan Hashim, Nor Ashidi Mat Isa, Wan Maznah Wan Omar, Dzati Athiar Ramli, Kamal Zuhairi Zamli & Fauzi Baharudin. Penentuan Kualiti Air Sungai Menggunakan Rangkaian Neural Berbilang Lapisan Hibrid. *Jurnal Teknologi, UTM*. (dalam penelitian)

Nor Ashidi Mat Isa, Fakroul Ridzuan Hashim, Wan Maznah Wan Omar, Dzati Athiar Ramli & Kamal Zuhairi Zamli. Predicting Quality of River's Water By Using H²MLP Networks. *Elsevier ScienceDirect Journal*. (dalam penelitian)

PENGUBAHSUAIAN SENIBINA RANGKAIAN NEURAL SECARA BERHIRARKI DALAM PENENTUAN JENIS DAN KUALITI AIR SUNGAI

ABSTRAK

Penggunaan rangkaian neural dalam pengecaman corak jelas memberikan implikasi yang besar kepada bidang pengkelasan dan pengelompokan data. Kajian terdahulu telah menunjukkan bahawa penggunaan rangkaian neural dalam pengecaman corak mampu mengkelaskan data-data dengan baik. Kajian terdahulu juga menunjukkan tahap kualiti air sungai mampu ditentukan berpandukan kepada spesis alga yang terkandung di dalamnya. Justeru itu, penyelidikan ini mencadangkan aplikasi rangkaian neural sebagai pengkelas pintar untuk menentukan kualiti air sungai berdasarkan komposisi alga. Pada peringkat awal, penyelidikan ini telah membuktikan 21 jenis daripada 78 jenis alga adalah dominan sebagai parameter masukan kepada rangkaian neural menggunakan analisa diskirminan. Berbanding penyelidikan terdahulu, penyelidikan ini telah mencadangkan pengubahsuaian rangkaian neural secara berhirarki dalam usaha untuk meningkatkan prestasi pengecaman. Keputusan yang diperolehi menunjukkan rangkaian perseptron berbilang lapisan hibrid berhirarki yang dicadangkan mampu meningkatkan prestasi kejituan yang tinggi sebanyak 97.09% pada 5 lelaran data latihan dan 1 nod tersembunyi sahaja di samping ralat pengkelasan sebanyak 0.0084. Penyelidikan ini juga melangkah selangkah ke hadapan dengan mengkelaskan air sungai kepada jenis air terdahulu dan diikuti oleh kualiti air sungai ditentukan berbanding penyelidikan terdahulu yang hanya mengkelaskan air sungai kepada kualitinya sahaja.

HEIRARCHICAL MODIFICATION OF NEURAL NETWORK'S ARCHITECTURE FOR DETERMINATION OF TYPE AND QUALITY OF RIVER'S WATER

ABSTRACT

The use of neural network in pattern recognition has given a big impact in the classification and clustering of the data. Previous studies had shown that a neural network has high capability for data classification. On the other hand, some previous studies also proved that the quality of river's water can be predicted based on the algae species. Thus, this research proposes the application of neural network as an intelligent classifier to determine the quality level of river's water based on the algae composition. In the early stage of this research, by using discriminant analysis, 21 out of 78 algae species have been proven as the dominant input parameter for the neural network. As compared to the previous studies, this research proposes a modified version of the neural network in hierarchical form in order to improve the classification performance. The result shows that the proposed hierarchical hybrid multilayered perceptron (H^2MLP) has capability to produce high accuracy up to 97.09% at only 5 trainings iteration and 1 hidden node with 0.0084 classification error. This research also goes one step further by classifying the river's water into its type and quality as compared to previous research which only classified the river's water to the quality of water.

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Penggunaan Rangkaian Neural dalam Pengecaman Corak

Pengecaman corak, pengenalpastian dan pengkelasan data adalah permasalahan penting dalam aplikasi kejuruteraan, perubatan, kajihayat, psikologi, pemasaran, penglihatan komputer, kecerdikan buatan dan penginderaan jauh. Permasalahan yang berlaku adalah apakah itu corak? Anil et. al. (2000) mendefinisikan corak sebagai satu entiti yang kabur dan mampu untuk dinamakan. Sebagai contoh, imej cap jari adalah sejenis corak begitu juga dengan raut wajah manusia atau isyarat pertuturan. Berdasarkan kepada satu corak, pengecaman atau pengkelasan perlu merangkumi satu daripada dua kaedah yang biasa dilakukan iaitu:

- 1) pengkelasan terselia, dimana corak masukan dikenalpasti sebagai ahli dalam satu-satu kelas. Analisa diskriminan adalah satu contoh kepada pengkelasan terselia,
- 2) pengkelasan tak terselia, dimana corak merupakan umpukan kepada kelas-kelas yang tidak diketahui. Pengelompokan merupakan satu contoh bagi aplikasi pengkelasan tak terselia.

Kecerdikan buatan pula menjadi satu kaedah permodelan yang sangat popular bagi menyelesaikan masalah-masalah yang kompleks. Salah satu cabang daripada kecerdikan buatan yang sering digunakan ialah rangkaian neural. Fungsi utama bagi satu rangkaian neural adalah memetakan hubungan di antara parameter masukan dan parameter keluaran selain mampu beroperasi seperti fungsi otak manusia. Rangkaian neural telah dibuktikan mampu menjalankan fungsi-fungsi pemikiran manusia dan telah digunakan di dalam bidang-bidang seperti telekomunikasi (Zhoa et. al. 2004), minyak dan gas (Heydari et. al., 2000), robotik (Brashan et. al., 2000) dan pengangkutan (Kurokawa dan Takeshita, 2004).

Penggunaan rangkaian neural dalam mengelaskan pengecaman corak dilihat mampu memberikan kejituan yang lebih tinggi berbanding pengecaman corak tanpa menggunakan aplikasi rangkaian neural. Kombinasi ini dicadangkan kerana kejituan untuk mengelaskan corak melalui kaedah pengecaman sahaja memberikan kejituan yang rendah. Oleh itu dengan bantuan aplikasi rangkaian neural, corak-corak yang telah melalui proses pengecaman mampu dikelaskan dengan lebih baik dan sistematik. Proses pengecaman corak akan mengumpulkan set data keluaran dimana set data ini akan dijadikan data masukan kepada proses rangkaian neural. Rangkaian neural akan mengelaskan set data masukan ini berdasarkan kelas-kelas yang dikehendaki. Penggunaan rangkaian neural dalam aplikasi pengecaman corak telah dibuktikan sesuai. Beberapa kajian telah dilakukan antaranya dalam bidang pengecaman data (Akhbardeh, 2005), perubatan (Ng et al., 2002, Li dan Najarian, 2001), pengenalpastian dan kawalan sistem (Mashor, 2001) dan pemprosesan imej digital (Sankupellay dan Selvanathan, 2002) menunjukkan kombinasi aplikasi diantara pengecaman corak dan rangkaian neural mampu melakukan pengkelaskan dengan lebih baik.

1.2 Penggunaan Rangkaian Neural dalam Menentukan Kualiti Air

Rangkaian neural telah digunakan dalam proses hidrologi (Xu dan Yao, 2001) dan juga permodelan berkaitan dengan kehidupan plankton dan pembiakan spesis alga (Millie et al., 2006). Suen dan Eheart (2003) telah mengaplikasikan penggunaan rangkaian neural dalam menguruskan kualiti air seterusnya memodelkan rangkaian neural bersesuaian dengan aplikasi yang dikehendaki. Recknagel (1997) buat pertama kali telah mengaplikasikan rangkaian neural terhadap pengkalan data kualiti air untuk meramal pembiakan dan pertumbuhan alga di dalam air. Analisa itu telah dilakukan dengan menggunakan rangkaian neural suap depan (*feedforward*) untuk meramal kehadiran dan pertumbuhan spesis phytoplankton yang besar di kawasan tadahan Saidenbach, di Jerman. Parameter yang diukur di dalam air antaranya adalah kadar

pencahayaannya, suhu air, nutrien dan zooplankton. Parameter-parameter ini akan digunakan sebagai data masukan kepada rangkaian neural yang telah dibina.

Aplikasi permodelan rangkaian neural untuk meramal kehadiran alga biomas dalam ekosistem air tawar juga telah dilakukan di Tasik Tuusulanjärvi di Finland, Tasik Kasumigaura dan Tasik Biwa di Jepun dan Sungai Darling di Austria (Racknagel et al., 1997). Penambahbaikan terhadap model rangkaian neural juga telah dilakukan dengan membangunkan satu rangkaian neural separa berulang (*recurrent neural network*) berdasarkan siri-siri masa (*time series*) (Jeong et al., 2001). Model yang dibangunkan ini telah mengkaji kehidupan phytoplankton di Sungai Nakdong (Korea). Keputusan daripada kajian yang dilakukan di Sungai Nakdong telah membuktikan rangkaian neural sesuai untuk digunakan dalam meramal kehadiran spesis alga.

1.3 Objektif dan Skop Penyelidikan

Penyelidikan ini merupakan merangkumi penyelidikan terhadap keupayaan rangkaian neural berhierarki dalam melakukan pengecaman terhadap spesis-spesis alga yang terdapat di dalam air sungai. Terdahulu, rangkaian neural berhierarki pernah diaplikasikan dalam bidang perubatan di mana rangkaian ini mampu mengelaskan sel-sel pangkal rahim sama ada normal atau LSIL dan HSIL (Mat-Isa, 2002). Rangkaian yang dibangunkan dalam penyelidikan terdahulu hanya mengelaskan sel-sel pangkal rahim kepada tiga kumpulan dengan hanya memerlukan dua rangkaian neural dan pengelasan dilakukan sehingga hierarki yang kedua. Berbeza bagi penyelidikan ini, rangkaian neural perlu melakukan pengecaman terhadap lima kumpulan jenis dan kualiti air sungai di mana proses pengecaman memerlukan empat rangkaian neural dilakukan sehingga hierarki yang ke-empat. Secara umumnya, penyelidikan ini mempunyai beberapa objektif iaitu:

- (i) mengubahsuai rangkaian neural konvensional (MLP dan HMLP) dengan menghierarkikan rangkaian neural konvensional bagi membangunkan

satu rangkaian neural berhirarki yang mampu melakukan pengecaman lebih baik berbanding rangkaian neural konvensional. Rangkaian neural berhirarki akan diubahsuai berbanding kajian terdahulu (Mat-Isa, 2002) supaya mampu melakukan pengecaman pada hirarki yang lebih tinggi dan berkeupayaan melakukan pengecaman terhadap lima kumpulan.

- (ii) melakukan analisa terhadap spesis alga sama ada mampu digunakan sebagai penunjuk kepada pengkelasan jenis dan kualiti air sungai dengan menggunakan rangkaian neural berhirarki yang dibina di dalam (i). Spesis alga yang digunakan adalah seperti di dalam lampiran A. Kajian ini akan mengelaskan air sungai kepada lima kumpulan iaitu air tawar dengan kualiti bersih, air tawar dengan kualiti pertengahan, air tawar dengan kualiti tercemar, air payau dengan kualiti pertengahan dan air payau dengan kualiti tercemar.
- (iii) Kajian ini juga melakukan analisa terhadap alga dominan dalam pengecaman jenis dan kualiti air sungai. Kaedah yang dicadangkan adalah analisa diskriminan.

1.4 Garis Panduan Tesis

Secara keseluruhannya, tesis ini mengandungi 5 bab. Bab 1 memberi pengenalan ringkas mengenai penyelidikan yang akan dijalankan. Penerangan ini merangkumi latar belakang, objektif dan skop penyelidikan. Bab ini juga akan membincangkan perkembangan terkini berkaitan dengan kaedah penentuan kualiti air sungai.

Bab 2 akan memfokuskan tentang kajian ilmiah berkenaan pengecaman kualiti air sungai. Ia meliputi penerangan berkenaan penentuan kualiti air sungai serta kaedah penentuan kualiti air masih lagi digunakan sekarang. Kajian ilmiah ini juga meliputi penerangan mengenai rangkaian neural. Teori dan konsep asas rangkaian neural buatan yang akan dibincangkan meliputi permodelan neuron, seni bina dan proses

pembelajaran. Selepas itu, aplikasi rangkaian neural dalam menentukan jenis dan kualiti air sungai akan turut dibincangkan.

Bab 3 pula membincangkan rangkaian-rangkaian neural yang dibangunkan di dalam penyelidikan ini. Penggunaan analisa diskriminan dalam menentukan spesis alga yang dominan juga akan dibincangkan. Rangkaian-rangkaian neural yang akan dibincangkan adalah meliputi konsep, ciri-ciri algoritma serta aplikasi rangkaian neural tersebut. Keputusan dan prestasi rangkaian neural akan dibandingkan di antara satu sama lain. Penyediaan sampel-sampel data yang digunakan dalam penyelidikan ini dibincangkan. Metodologi penyelidikan menentukan keupayaan rangkaian neural dalam mengelaskan jenis dan kualiti air sungai juga akan diterangkan dengan lebih mendalam.

Bab 4 akan memaparkan keputusan penyelidikan yang diperolehi. Ia akan dimulakan dengan keputusan analisa diskriminan dalam penentuan spesis alga dominan untuk pengecaman jenis dan kualiti air sungai. Kemudian, Bab 4 akan menerangkan keputusan pengecaman yang diberikan oleh setiap rangkaian neural yang dibangunkan iaitu RBF, MLP, HiMLP, HMLP dan H^2 MLP. Keputusan dan analisa kejituan bagi kesemua rangkaian neural tersebut akan dibincangkan dengan terperinci dan keputusan rangkaian HiMLP dan H^2 MLP iaitu rangkaian neural berhirarki akan dibandingkan dengan rangkaian neural konvensional. Bab 4 juga akan menerangkan tentang sistem pengecaman yang dibangunkan bagi menentukan jenis dan kualiti air sungai berdasarkan spesis alga.

Bab 5 merupakan bab terakhir di dalam tesis ini. Semua keputusan dan ulasan yang diperolehi di dalam penyelidikan ini akan disimpulkan di dalam Bab 5. Di samping itu, beberapa cadangan akan diberikan bagi meningkatkan lagi keupayaan sistem yang dibangunkan.

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

2.1 Pengenalan

Rangkaian neural merupakan mula mendapat perhatian umum di Malaysia setelah aplikasi terhadap beberapa bidang-bidang kritikal seperti bidang perubatan (Ng et. al., 2002), bidang aeroangkasa (Gupta et. al., 2003) dan kejuruteraan (Mashor, 2001) telah memberikan keputusan yang baik. Walaubagaimanapun, pelbagai penyelidikan masih dilakukan bagi merekabentuk satu rangkaian neural yang mampu memberikan kejituan yang tinggi dalam membuat keputusan. Penyelidikan terhadap rangkaian neural yang baru serta penambahbaikan terhadap rangkaian neural yang sedia ada masih berterusan dilakukan. Penambahbaikan terhadap rangkaian neural konvensional dengan melakukan analisa secara berhirarki mampu memberikan keputusan yang lebih baik berbanding rangkaian neural tanpa penghirarkian. Mat-Isa (2002) telah membuktikan bahawa rangkaian neural berhirarki memberikan kejituan yang lebih tinggi berbanding rangkaian neural konvensional dalam pengecaman sel pangkal rahim. Walaubagaimanapun, penyelidikan hanya dilakukan untuk dua hirarki pertama sahaja. Pendekatan yang digunakan oleh Mat-Isa (2002) kini cuba diaplikasikan dan diubahsuai agar sesuai digunakan dalam menentukan tahap kualiti air sungai. Kajian ilmiah ini akan menyentuh serba sedikit berkenaan kualiti air sungai dan seterusnya penerangan terhadap rangkaian neural akan diberikan.

2.2 Penentuan Kualiti Air Sungai

Di Malaysia, pembangunan ekonomi yang pesat menyebabkan hidrologi dan ekologi ekosistem terjejas teruk disebabkan oleh masalah pencemaran. Jabatan Alam sekitar (*Department of Environment, DOE*) dan beberapa firma perunding persendirian beserta pakar-pakar dari beberapa universiti tempatan telah memulakan program pemantauan terhadap sungai-sungai yang tercemar dengan mengumpul data

mengenai pencemaran yang telah berlaku. Ciri-ciri fizikal air, kandungan bahan kimia di dalam air serta kandungan biologi air akan dikenalpasti. Ciri-ciri ini akan digunakan bagi meramal sifat-sifat dan tahap kualiti air bagi sistem-sistem sungai di Malaysia (Cuffney, 2000).

2.2.1 Klasifikasi Air Sungai

Kualiti air biasanya akan diklasifikasikan kepada empat kategori sama ada sangat bersih, bersih, kotor atau sangat kotor (Wilson dan Recknegal, 2001). Kualiti air merupakan ungkapan yang ditujukan kepada tahap kesesuaian air untuk digunakan dalam pelbagai aplikasi. Setiap penggunaan air mestilah memenuhi spesifikasi dari segi sifat fizikal, kandungan biologi yang terdapat di dalam air tersebut dan kandungan bahan kimia yang terdapat di dalamnya. Oleh itu, keadaan fizikal air, kandungan biologi dalam air dan kandungan bahan kimia dalam air dapat menentukan tahap kualiti air tersebut. Peningkatan kajian mengenai ekosistem akuatik menjadi opsyen kepada pengurusan kualiti air. Maklumat mengenai fizikal air, kandungan bahan kimia dan kandungan biologi di dalam air di samping beberapa maklumat tambahan dapat dikumpul daripada pemerhatian terhadap sampel air.

2.2.2 Kaedah Pengecaman Kualiti Air

Terdapat tiga tahap pemantauan yang sering dijalankan bagi pengecaman kualiti air (Windelspecht, 2002). Pemantauan tahap pertama adalah pemantauan kepada fizikal air. Pemantauan tahap kedua adalah pemantauan kepada kandungan kimia di dalam air manakala pemantauan tahap ketiga adalah pemantauan kepada spesis biologi di dalam air. Terdapat juga kaedah pengecaman kualiti air menggunakan kaedah pemerhatian daripada imej yang di ambil dari satelit (Olmanson et. al., 2000 dan Brezonik et. al., 2003) Walaupun kaedah yang digunakan adalah berlainan tetapi objektif kajian adalah sama iaitu mengawal pencemaran air daripada terus berlaku dan juga mengklasifikasikan kualiti air.

Pemantauan tahap pertama adalah pemantauan kepada ciri-ciri fizikal air. Pemantauan kepada ciri-ciri fizikal air merupakan pemantauan yang paling mudah untuk dilakukan. Kaedah ini adalah paling efektif kerana tidak memerlukan sebarang latihan sebelum melakukan pemantauan, tanpa memerlukan peralatan canggih yang mahal serta tidak memerlukan masa tertentu untuk pemantauan terhadap kualiti air dijalankan. Bagi menjalankan penentuan kualiti air, peralatan seperti sepasang kasut getah dan sebuah buku nota untuk mencatat sebarang maklumat mengenai keadaan air diperlukan. Pemantauan dapat dilakukan sekali seminggu atau sekurang-kurangnya sekali bagi setiap bulan. Hanya beberapa jam sahaja diperlukan setiap kali pemantauan dijalankan. Walaubagaimanapun, pemantauan secara fizikal ini hanya mampu dilakukan oleh mereka yang diiktiraf kepakarannya dalam bidang hidrologi.

Faktor yang paling penting dalam menentukan kualiti air menggunakan pemantauan fizikal adalah kekuatan peramalan yang dibuat. Kawasan penyiasatan yang luas memerlukan lebih daripada seorang penyelidik diperlukan kerana pemantauan yang berbeza dapat dilakukan pada setiap kawasan. Apabila berlaku sebarang perubahan bau air di kawasan tertentu, perubahan warna air akan dicatat bersama-sama warna mendakan yang terdapat di dalam air. Pemantauan kepada kawasan-kawasan yang mengalami hakisan juga perlu dilakukan di samping tumbuhan-tumbuhan liar yang hidup di persekitaran. Perkara-perkara ini berpotensi untuk dijadikan sebagai penunjuk kepada kualiti air bagi masa-masa yang akan datang.

Rekod yang tepat sangat penting semasa menjalankan penyiasatan di kawasan pemerhatian. Rekod-rekod seperti masa dan tarikh pemantauan dilakukan, keadaan cuaca semasa pemantauan dijalankan dan paling penting adalah rekod tentang hujan atau salji yang turun 24 jam sebelum pemantauan dilakukan. Sebagai tambahan, rekod terhadap lokasi sampah-sarap yang ditemui perlu dicatat. Kehadiran populasi haiwan seperti burung-burung, serangga dan ikan juga perlu direkodkan.

Sebarang maklumat walaupun kecil adalah penting kepada pemantauan secara fizikal yang berkemungkinan menjadi penyebab dan penunjuk kepada kualiti air.

Chang (2005) dan Quevauviller (2006) telah mengklasifikasikan kualiti air menggunakan pemantauan tahap kedua iaitu pemantauan kepada kandungan bahan kimia di dalam air. Beberapa parameter telah digunapakai bagi mewakili pemantauan terhadap keseimbangan jisim. Parameter kualiti air yang digunakan adalah permintaan oksigen biokimia (*Bio-Chemical Oxygen Demand, BOD*), permintaan oksigen kimia (*Chemical Oxygen Demand, COD*), oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen, DO*) dan pepejal terampai (*Suspended Solids, SS*).

Parameter BOD akan mengukur kuantiti oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisma dan bakteria bagi menstabilkan kandungan bahan organik biosorot di dalam air (Sawyer et. al., 2003). Bahan organik biosorot ini mengandungi unsur karbon dan nitrogen. Proses pengoksidaan akan berlaku apabila bahan organik biosorot diurai oleh mikroorganisma. Hasil penguraian akan menghasilkan tenaga yang akan digunakan oleh mikroorganisma itu sendiri. Faktor suhu, masa dan kuantiti cahaya akan mempengaruhi kandungan BOD di dalam air. Pertambahan suhu akan menyebabkan proses penggunaan oksigen meningkat akibat pertambahan aktiviti metabolik. Jumlah penggunaan oksigen juga akan meningkat dengan berkadar terus dengan masa yang diambil untuk melakukan ujian kandungan BOD. Oleh itu, semakin panjang masa ujian dijalankan maka kandungan oksigen yang tinggal semakin berkurang. Nilai BOD juga akan berubah bergantung kepada keamatan cahaya. Kebanyakan sumber air mengandungi alga dan kehadiran cahaya akan menyebabkan proses fotosintesis berlaku dan kandungan oksigen akan berubah.

Parameter COD akan menentukan kandungan bahan kimia yang terdapat di dalam air (Kambe et. al., 2007). Parameter ini dapat memendekkan masa ujian kerana bahan organik akan dioksidakan secara kimia dan bukan terurai secara semulajadi seperti BOD yang memerlukan masa sehingga lima hari untuk diuraikan. Hampir semua bahan organik akan dioksidakan secara kimia dan ini menjadikan nilai COD

adalah lebih tinggi berbanding nilai BOD. BOD akan menguraikan hanya sebahagian sahaja bahan organik berbanding COD (Arumugam et. al., 2005). Parameter DO pula akan menentukan tahap pencemaran air (Kambe et. al., 2007). Kandungan oksigen terlarut adalah dipengaruhi oleh suhu. Petambahan suhu akan menyebabkan penurunan kadar kandungan oksigen terlarut. Oksigen terlarut ini amat penting kepada semua ekosistem akuatik untuk meneruskan kelangsungan hidup. Kandungan oksigen terlarut yang tidak mencukupi akan mengakibatkan ekosistem akuatik akan mati akibat kesukaran bernafas.

Parameter SS biasanya terdiri daripada zarah-zarah organik dan zarah-zarah tidak organik yang mempunyai saiz yang lebih besar daripada 0.001mm dan tidak larut dalam air (Kambe et. al., 2007). Zarah-zarah organik terdiri daripada alga, bakteria dan protozoa manakala zarah-zarah tidak organik terdiri daripada tanah liat dan kelodak. Kehadiran pepejal terampai akan menyebabkan air menjadi keruh, berkeladak, berbau serta beracun. Mikroorganisma aerobik yang mengurai bahan organik di bahagian atas air akan menghasilkan karbon dioksida, air dan sel-sel baru. Mikroorganisma anerobik pula akan mengurai bahan organik dan sel-sel yang terenap kepada asid organik dan seterusnya kepada karbon dioksida, air, hidrogen sulfida dan metana. Penentuan kuantiti pepejal terampai dapat dilakukan menerusi proses penurasan dan penimbangan berat zarah yang tertinggal di atas kertas turas. Kandungan pepejal terampai yang tinggi akan menunjukkan tahap pencemarannya adalah tinggi.

Pemantauan secara biologi terhadap tahap kualiti air telah berkembang sejak dua dekad yang lalu. Pemantauan biologi dilakukan terhadap ekosistem akuatik di sepanjang sungai (Maznah dan Mansor, 2002). Kitar hidup spesis ekosistem akuatik yang terdiri daripada tumbuhan dan haiwan adalah singkat di samping pembiakan dan kepupusan yang silih berganti menarik perhatian ahli-ahli biologi. Pelbagai usaha telah dijalankan untuk menjadikan haiwan sebagai parameter pemantauan (Bradley dan Ormerod, 2001). Satu sistem telah direkabentuk berdasarkan kehadiran jenis haiwan serta bilangannya yang berada di satu-satu kawasan pemantauan. Namun kehidupan

spesis haiwan yang bermusim iaitu panas dan lembab sepanjang tahun tidak sesuai dijadikan sebagai penunjuk (Maznah dan Mansor, 2002).

Rosenberg (1998) telah menjalankan satu penyelidikan dan hasilnya beliau mendapati pemantauan secara biologi adalah lebih baik berbanding pemantauan secara kimia dan merumuskan tumbuhan sesuai dijadikan penunjuk kepada kualiti air. Milner et. al. (2006) telah menjalankan ujian penentuan kualiti air dengan menggabungkan beberapa parameter kimia kepada ekosistem akuatik. Hasil kajian menunjukkan pemantauan secara kimia kurang berkesan berbanding pemantauan secara biologi. Pensampelan biologi telah digunakan dalam program pemantauan terhadap sungai-sungai yang tercemar. Hasil kajian mendapati spesis alga mempunyai perkaitan yang sangat hampir kepada pencemaran air (Maznah et. al., 2000).

Pemantauan secara biologi dapat dijalankan berdasarkan faktor ekologi, penggunaan organisma yang mengawal persekitaran dan pengumpulan mikroorganisma dalam air. Faktor ekologi digunakan untuk mengkaji dan menganalisa komuniti akuatik yang terkandung di dalam air. Pemantauan komuniti makro hanya akan melalui proses pemerhatian secara mata kasar sahaja. Bagi pemantauan komuniti mikro pula, ianya akan dikumpul menggunakan slaid kaca yang terletak di dalam air. Kehadiran satu-satu spesis komuniti mikro akan dipastikan berdasarkan kandungan spesis yang terdapat pada slaid berkenaan. Catatan akan dilakukan berdasarkan kehadiran spesis dan juga bilangan satu-satu spesis yang terdapat di dalam air. Organisma-organisma yang mengawal persekitaran akan digunakan bagi memantau toksik-toksik yang terhasil. Ujian terhadap toksik-toksik itu mampu mengenalpasti sifat-sifat organisma itu sendiri. Sebagai langkah berjaga-jaga, organisma yang mempunyai tahap toksik yang tinggi akan dikawal pembiakannya.

Pemantauan biologi biasanya dijalankan berdasarkan kepada empat aspek utama. Aspek-aspek yang digunapakai adalah sistem saprobik (Rolauuffs, 2004), pola indeks biotik (Nichols et. al., 2000), skor kerja-kerja pihak pemantauan British (*British Monitoring Working Party, BMWP*) (Boselli et. al., 2005) dan skor purata bagi setiap

takson (*Average Score per Taxon, ASPT*) (Pires et. al., 2000 dan Dahl et. al., 2004). Sistem saprobik yang dijalankan mempunyai beberapa diskripsi tertentu. Salah satu adalah semua takson akan dikenalpasti berdasarkan tahap-tahap spesis yang telah ditetapkan. Setiap spesis juga akan ditetapkan nilai-nilai penunjuk bagi menunjukkan kehadiran spesis itu. Tahap-tahap kelimpahan spesis pula akan dijadikan faktor kepada sistem ini manakala bukti-bukti ketidakhadiran spesis tidak akan diambil kira. Sistem ini tidak boleh dijalankan kepada spesis yang bermusim dan sistem diaplikasi berdasarkan taburan kekerapan spesis yang dikumpul.

Pola indeks biotik pula memberikan diskripsi kepada spesis penunjuk secara berkumpulan. Ini bermakna pola indeks biotik menjalankan pemantauan kepada kumpulan-kumpulan spesis yang hadir. Kelimpahan spesis secara individu tidak akan diambil kira tetapi kelimpahan spesis dalam kumpulan pengelompokan atau di luar kumpulan pengelompokan akan dijadikan penunjuk. Kehadiran nilai-nilai ambang pengelompokan berkumpulan dapat memberikan impak yang besar kepada pengecaman. Pola indeks biotik ini juga tidak boleh dijalankan kepada spesis yang bermusim. Sistem ini menyerupai pengecaman corak yang menggunakan nilai-nilai ambang pengelompokan berkumpulan sebagai parameter utama bagi menjalankan pengecaman.

Skor BMWP dan skor ASPT pula mempunyai diskripsi berlainan. Pengenalan takson-takson hanya dilakukan terhadap tahap-tahap spesis sahaja. ASPT mengabaikan bukti ketidakhadiran spesis manakala BWMP mengambilkira bukti ketidakhadiran itu dan memberikan skor sifar. Kedua-dua skor tidak boleh dijalankan kepada spesis yang bermusim. Sistem-sistem ini akan menetapkan satu skor bermula dari '0' hingga '10' bagi setiap tahap spesis sebagai penanda aras kepada sensitiviti pencemaran. BWMP akan menunjukkan jumlah skor bagi setiap tahap-tahap spesis manakala ASPT akan memberikan nilai purata skor.

Pada abad yang lepas, cakera Secchi telah digunakan sebagai peralatan bagi membuat pemantauan kualiti air (Zhang et. al., 2003) . Ahli fizik Itali, Pietro Angelo

Secchi telah merintis penggunaan cakera Secchi ini pada tahun 1865. Nama cakera Secchi ini diambil sempena nama ahli fizik itu selaku perintis kepada penggunaannya. Cakera ini adalah selebar lapan inci dan diwarna dengan corak hitam dan putih. Seseorang individu akan mendayung perahu ke tengah tasik dan melabuhkan cakera ini ke dalam tasik. Catatan akan diambil apabila cakera ini hilang daripada pandangan. Kedalaman air itu dipanggil kedalaman Secchi dan ini adalah ukuran kepada kejernihan air. Di Minnessota, terdapat tasik yang tercemar dan kedalaman Secchi yang direkodkan adalah sedalam kurang daripada satu kaki manakala bagi tasik yang bersih pula, kedalaman Secchi yang direkodkan adalah sedalam 16 kaki atau lebih.

Walaupun penggunaan ukuran kedalaman Secchi berjaya menghasilkan sistem pengecaman yang baik namun bagi mengambil bacaan kedalaman cakera Secchi, individu yang sangat mahir diperlukan. Mereka yang ditugaskan mengambil bacaan akan berperahu ke tengah tasik dan melabuhkan cakera Secchi dengan perlahan-lahan. Bacaan kedalaman direkodkan dan proses akan diulang di beberapa lokasi yang berlainan. Penggunaan kedalaman cakera Secchi ini mungkin sesuai untuk beberapa tasik tetapi tidak praktikal digunakan untuk memantau 30,000 buah tasik di Minnesota.

Sudah berpuluh tahun ahli-ahli limnologi mencari kaedah alternatif untuk menggantikan penggunaan cakera Secchi. Pertengahan tahun 70-an, ahli limnologi Lillesand dan sekumpulan ahli limnologi lain mencetuskan idea menggunakan satelit di ruang angkasa lepas untuk memantau kualiti air tasik (Olmanson et. al., 2000). Mereka merumuskan bahawa jika informasi kualiti air dapat diekstrak daripada imej yang diambil daripada satelit, maka lebih banyak bilangan tasik yang dapat dipantau. Dengan menggunakan imej daripada satelit Landsat, data yang diperolehi hanya dapat menggambarkan kualiti air secara kasar sahaja. Dengan menggunakan peralatan pemeta tematik (*Thematic Mapper, TM*) dan pemeta tertingkat tematik (*Enhanced Thematic Mapper, ETM*) tujuh lebar jalur sinaran radiasi yang berbeza dipantulkan kembali daripada permukaan bumi (Wood et. al., 2006). Konsep perambatan cahaya

digunakan dalam sistem ini. Lebar jalur yang digunakan adalah cahaya nampak, infra-merah yang dipantulkan dan infra-merah termal. Menggunakan ruang resolusi 30 meter, imej yang dihasilkan adalah memuaskan dan imej itu berjaya dipetakan dan bersaiz sebesar sebuah tasik. Maklumat yang diperolehi daripada imej satelit telah dibandingkan dengan maklumat yang diperolehi daripada pengukuran cakera Secchi. Keputusan yang diperolehi amat memberangsangkan dengan peratus kejituan yang tinggi, sama seperti maklumat yang diperolehi melalui kaedah pengukuran cakera Secchi.

Berdasarkan kejayaan penggunaan satelit sebagai penginderaan jauh (*remote sensing*) para saintis dari Universiti Minnesota, Amerika Syarikat telah membangunkan satu teknik pemantauan kejernihan dan kebersihan tasik yang mana akan membantu mengenalpasti pola kualiti air (Olmanson et. al., 2000). Mereka dengan kerjasama dengan Pentadbiran Aeronautik dan Angkasalepas Kebangsaan (*National Aeronautic and Space Administration, NASA*) telah menggunakan imej yang diambil oleh satelit TM. Selain daripada menjimatkan kos dan masa, pemantauan menggunakan satelit dapat memberikan kawasan pemantauan yang lebih luas dan lebih efektif. Pemantauan secara manual menggunakan tangan sahaja bagi pengambilan sampel adalah kurang efektif. Di Minnesota sahaja, terdapat lebih daripada 30,000 buah tasik direkodkan, adalah mustahil kesemua tasik dapat dipantau. Dengan menggunakan imej yang diambil dari satelit, lebih daripada 10,000 buah tasik berjaya dipantau dengan baik.

Shuleikin, (1933) pula adalah perintis dalam pengecaman kualiti air laut berdasarkan warna air tersebut dan kajian tentang bidang optikal mengenai kandungan air. Kini, penggunaan satelit TM untuk meramal warna air di satu-satu kawasan telah dikomersilkan. Kandungan klorofil (*Chlorophyll*) di dalam air serta kehadiran pepejal-pepejal terampai (*Suspended Solids*) mampu mengubah warna air. Keamatan warna air akan digunakan sebagai penunjuk kepada klasifikasi kualiti air (Rane et. al., 2001). Perbezaan yang ketara diperhatikan di antara imej air yang berkualiti bersih dengan

imej yang berkualiti tercemar. Imej yang diambil oleh satelit TM itu juga mampu memaparkan imej pepejal terampai yang menjadi faktor utama penyebab pencemaran air. Penggunaan imej satelit dengan meramal warna air juga amat membantu ahli limnologi dalam membuat pemantauan dan sebagai alternatif kepada pemantau yang menggunakan ukuran kedalaman cakera Secchi.

Model teoritikal (Cheng et. al., 2002) dan model empirik (Kuang et. al., 2002) berkaitan penginderaan jauh bagi meramal warna air ini telah digunakan dengan meluas sejak beberapa tahun kebelakangan ini. Buat masa sekarang, kajian secara praktikal masih belum dapat dipraktikkan. Masalah yang dihadapi adalah kandungan nisbah pepejal yang berlainan di antara satu kawasan tadahan dengan kawasan tadahan yang lain. Walaubagaimanapun, kajian teoritikal yang dijalankan banyak membantu dengan membekalkan banyak maklumat yang diperlukan bagi mengklasifikasikan kualiti air.

2.3 Spesis Alga

Spesis alga adalah populasi tumbuhan akuatik yang merupakan kumpulan organisma akuatik yang terbesar dan kebanyakan daripadanya adalah terdiri daripada organisma berbilang sel (*multisel*) dan selebihnya adalah organisma sel tunggal (*unisel*) (Boyra et. al., 2004). Spesis alga juga merupakan tumbuhan hijau yang mempunyai klorofil di mana mampu menghasilkan makanannya sendiri melalui proses fotosintesis. Spesis alga juga akan mengeluarkan bahan organik seperti karbon terlarut dan asid hidropobik kepada persekitaran. Sebatian tak organik pula seperti karbon dioksida, ammonia, nitrat dan fosforus juga menjadi punca makanan kepada alga untuk membiakkan spesis alga yang baru seterusnya menghasilkan oksigen.

2.3.1 Kesan Spesis Alga Kepada Persekitaran

Bahan organik yang dilepaskan oleh spesis alga kepada persekitaran sangat berbahaya disamping mengandungi toksin. Spesis alga *Cylindrospermopsis*

Raciborskii contohnya boleh menyebabkan pengurangan air terjadi (Backer, 2002). Sistem rekreasi akuatik akan menjadi tidak seimbang disebabkan oleh pengurangan air. Populasi alga ini boleh membiak dalam air yang cetek dan menyebabkan kematian kepada hidupan akuatik akibat kekurangan oksigen terlarut yang terkandung di dalam air. Selain itu, toksin yang terhasil daripada spesis *Cylindrospermopsis Raciborskii* ini boleh mengancam nyawa manusia (Wilson dan Recknagel, 2001). Toksin ini juga mungkin terkandung di dalam air minuman atau wujud di dalam sistem rantai makanan manusia.

Lu dan Hodgkiss (2004) membuktikan toksin-toksin daripada alga mampu melepasi kaedah rawatan air yang dilakukan secara normal dan tegar kepada suhu didih air. Ia akan mengakibatkan gastrik dan keracunan kepada hati. Borner et. al. (2005) pula melaporkan toksin daripada spesis alga seperti *Alexandrium*, *Dinophysis* dan *Pseudo-nitzschia Multiseries* boleh menyebabkan hidupan laut pupus akibat keracunan. Perkara ini akan menyebabkan pengurangan kepada permintaan eksport makanan laut. Spesis alga seperti *Heterosigma Akashiwo* dan *Cryptosporidium Parvum* mampu membunuh spesis ikan dengan mengakibatkan insang ikan tersumbat teruk (Yoon et. al., 2005 dan Coyne et. al., 2005). Selain itu, spesis alga seperti [Cyanophytes](#) menyebabkan bau, rasa dan warna kepada bekalan air minuman berubah sama sekali seterusnya meningkatkan rungutan di kalangan pelanggan (Komarek, 2005). Masalah-masalah ini mampu diatasi atau sekurang-kurangnya kadar kes dapat diturunkan sekiranya pembiakan populasi spesis alga ini dapat dikekang pada peringkat awal lagi.

2.3.2 Penggunaan Spesis Alga Sebagai Penunjuk

Kolkwitz dan Marsson (1908) telah mula mengkaji penggunaan alga sebagai penunjuk dalam pengecaman kualiti air. Kajian tersebut merumuskan kualiti air dapat diklasifikasikan menerusi kehadiran spesis alga serta bilangan spesis tersebut. Kajian ini menukarkan konsep penggunaan spesis kimia yang telah digunakan sekian lama

kepada penggunaan spesis alga sebagai penunjuk kepada kualiti air. Penggunaan spesis alga dalam mengklasifikasikan kualiti air menjadi asas kepada kebanyakan kaedah-kaedah terkini. Menurut Round (1991), Butcher pada tahun 1932 telah mempelopori kajian mengenai habitat pembiakan populasi alga-alga, salah satu kajian yang penting dalam mengkaji spesis alga. Butcher telah meletakkan slaid kaca ke dalam Sungai British sebagai teknik penganalisan pembiakan spesis alga. Geiter pula pada tahun 1937 telah menggunakan teknik ini pengumpulan spesis alga menggunakan slaid kaca di sekitar Austria. Geiter mendapati lebih banyak spesis alga yang melekat pada objek-objek semulajadi daripada melekat pada slaid kaca yang diletakkan di dalam sungai. Walaubagaimanapun, kedua-dua kaedah pengumpulan spesis alga masih digunakan dan setiap kaedah memberikan keputusan pro atau kontra dalam beberapa aspek.

Hasil kajian perintis-perintis ini telah banyak membantu ahli-ahli biologi membuka lembaran baru dalam kajian berkenaan dengan air dan kualiti air. Butcher telah menjalankan kajian menggunakan teknik pengumpulan spesis alga melalui slaid kaca yang diletakkan di dalam sungai. Hasil daripada kajian itu beliau telah dapat memberikan perbezaan di antara sungai yang keruh dan jernih serta mampu mengenalpasti komuniti spesis sama ada dari zon oligotropik atasan atau utropik bawahan.

2.3.3 Spesis Alga Sungai

Spesis alga sungai banyak memberi manfaat kepada para penyelidik dengan membekalkan banyak maklumat terutama berkenaan dengan pengurusan kualiti air. Daripada kajian ilmiah yang dijalankan, terdapat banyak jenis alga yang terdapat di dalam sungai. Di lembangan Sungai Pinang sahaja, terdapat lebih daripada tujuh puluh jenis spesis alga terdapat di dalamnya (Maznah dan Mansor, 2002). Kehadiran alga di satu-satu lokasi akan mempengaruhi keadaan air dan dengan itu jenis dan kualiti air dapat diramal.

Berdasar kajian yang dijalankan oleh Maznah dan Mansor (2002) di sepanjang lembangan Sungai Pinang, sepsis alga *Achnanthes oblongella*, *Cocconeis placentula*, *Cocconeis pediculus*, *Fragilaria capucina* dan *Psammothidium bioretti* terdapat di stesyen-stesyen yang dipantau mempunyai kualiti air yang bersih. Oleh sebab itu, spesis ini mampu menjadi penunjuk kepada keadaan kualiti air bersih. Di kawasan ini, bacaan indeks saprobik adalah ($S_i=1$) yang menunjukkan tahap kualiti yang bersih. Alga sungai seperti *Fragilaria* sp. 1, *Diatoma* sp., *Navicula cryptocephala*, *Gomphonema subvebtricosum* dan *Gomphonema gracile* juga terdapat di kawasan berkualiti bersih. Pada musim lembab pula, spesis ini terdapat di kawasan berkualiti tercemar dengan indeks saprobik adalah ($S_i=2-3$). Spesis ini berkolerasi dengan positif terhadap DO tetapi berkolerasi negatif terhadap parameter kimia lain seperti BOD, COD dan SS.

Spesis alga *Achnanth exigua*, *Gomphonema parvulum*, *Hantzschia amphioxys*, *Nitzschia palea*, *Pinnularia biceps*, *Pinnularia biceps* f. *petersenii* dan *Pinnularia microstauron* sangat banyak terdapat di kawasan berkualiti tercemar. Spesis ini menunjukkan kolerasi negatif terhadap DO tetapi berkolerasi positif pada parameter-parameter BOD, COD dan SS. Indeks saprobik yang dicatat pada kawasan ini adalah ($S_i=3-4$). Bagi spesis seperti *Coscinodiscus argus*, *Diploneis ovalis*, *Nitzschia littoralis*, *Nitzschia obtusa* dan *Stauroneis obtusa* terdapat di muara sungai di mana air tawar dan air masin akan bercampur.

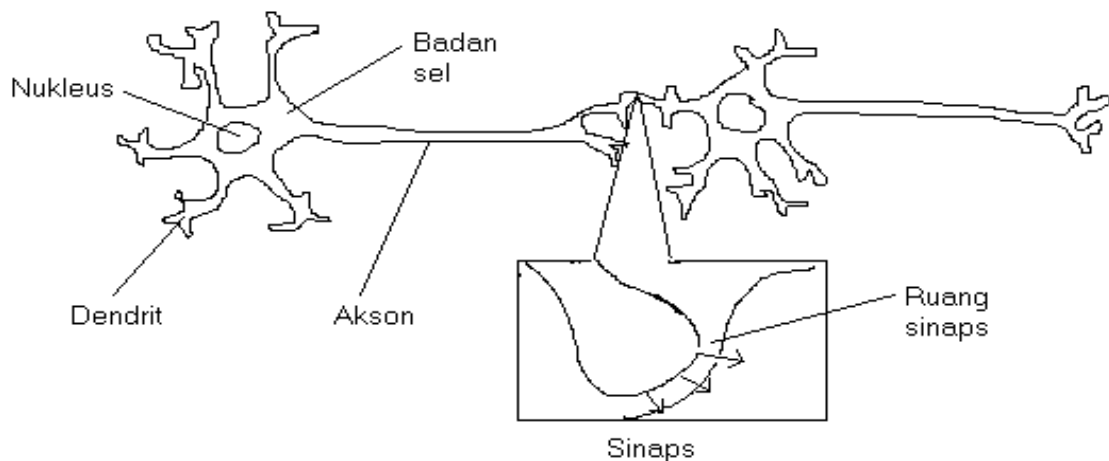
2.4 Rangkaian Neural

Rangkaian neural buatan adalah salah satu cabang dalam kecerdikan buatan yang digunakan bagi memodelkan fungsi otak. Berdasarkan prinsip otak beroperasi, rangkaian neural buatan direkabentuk menyerupai pengoperasian otak seperti pembinaan struktur senibina, teknik pembelajaran dan teknik pengoperasian (Haykin, 2001).

2.4.1 Rangkaian Neuron Biologi

Neuron merupakan struktur asas bagi sistem saraf manusia dalam tubuh badan manusia. Neuron berfungsi penerima maklumat daripada pancaindera manusia dan kemudiannya memproses maklumat itu sebelum menghantar maklumat tersebut kepada neuron-neuron lain. Senibina neuron adalah terdiri daripada nukleus, sel badan, dendrit, akson dan sinaps seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 2.1 (Nicholls et. al., 2001).

Setiap satu neuron terdiri daripada satu badan sel yang mempunyai banyak cabang-cabang. Cabang-cabang ini dinamakan dendrit yang berfungsi untuk menerima maklumat daripada neuron-neuron lain melalui akson. Akson pula akan menghantar maklumat daripada badan sel pada satu neuron kepada badan sel neuron yang lain. Setiap satu neuron disambungkan dengan satu neuron yang lain melalui satu ruang kecil yang terdapat di antara dendrit dan akson yang dikenali sebagai ruang sinaps. Proses penghantaran dan penerimaan segala maklumat berlaku pada ruang sinaps ini. Setiap maklumat dikodkan berdasarkan perubahan denyut elektrik. Apabila denyut elektrik ini melepasi had atau nilai ambang tertentu pada sinaps tertentu, sinaps tersebut akan terangsang. Penghantaran dan penerimaan informasi di antara dua neuron akan berlaku. Sebaliknya bagi denyut elektrik yang kurang daripada nilai ambang yang ditetapkan, sinaps akan terencat. Perencatan sinaps akan menghalang perhubungan di antara dua neuron (Haykin, 2001).



Rajah 2.1: Gambarajah neuron biologi.

2.4.2 Rangkaian Neural Buatan

Rangkaian neural merupakan suatu sistem pemprosesan maklumat yang mengandungi satu set unit pemprosesan yang disambungkan melalui saluran lain secara selari mengikut struktur yang tertentu. Rangkaian neural merupakan peralatan permodelan data yang berkuasa dan dapat menerangkan dengan terperinci hubungan di antara data masukan dan hasil keluaran secara kompleks. Rangkaian neural juga mengandungi rangkaian yang mempunyai sambungan unit neuron buatan yang mempunyai prinsip operasi yang hampir sama dengan rangkaian neuron biologi. Rangkaian ini juga berkebolehan untuk belajar dan menjadi pintar (Haykin, 2001).

Rangkaian ini direkabentuk bagi memodelkan sebahagian daripada fungsi otak manusia seperti pemprosesan isyarat, operasi matematik, perhubungan, pengenalan sistem dan banyak lagi. Selain itu, rangkaian neural juga mampu menerangkan hubungan linear dan hubungan tidak linear sesuatu sistem dan mampu mempelajari hubungan-hubungan ini secara terus daripada model data. Haykin (2001) menakrifkan rangkaian neural sebagai pemproses teragih selari besar yang mempunyai satu kecenderungan semulajadi untuk menyimpan pengetahuan

berpengalaman dan menggunakannya. Ia menyerupai otak manusia berdasarkan dua perkara berikut:

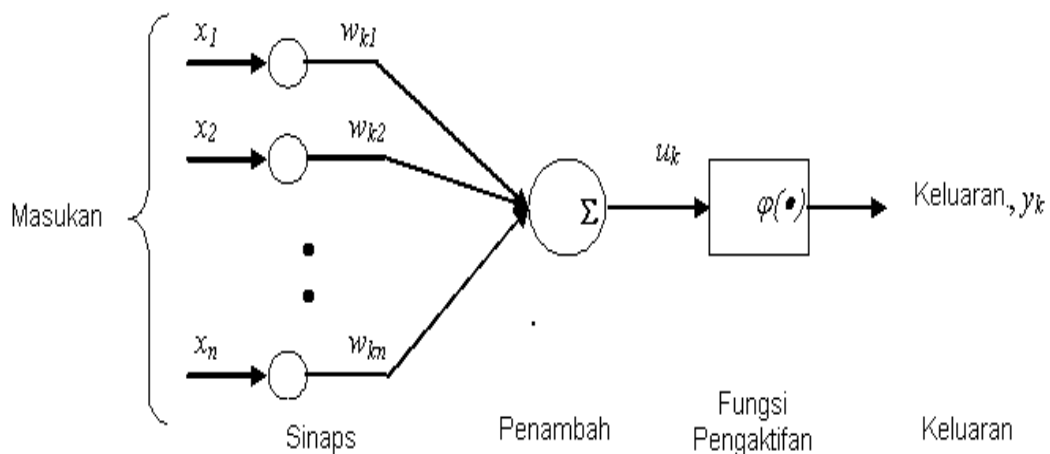
1. Pengetahuan diperolehi oleh rangkaian melalui proses latihan dan pembelajaran.
2. Kekuatan sambungan di antara neuron yang dikenali sebagai pemberat sinaps digunakan untuk menyimpan pengetahuan.

Berdasarkan rangkaian neural biologi, rangkaian neural buatan merupakan satu sistem yang terdiri daripada neuron-neuron yang disambungkan di antara satu sama lain. Pada sistem ini, beberapa neuron akan bertindak sebagai neuron masukan yang akan menerima maklumat atau lebih dikenali sebagai data masukan. Data masukan ini akan dihantar kepada neuron-neuron perantara untuk diproses. Neuron-neuron perantara ini akan menjadi perantaraan kepada neuron-neuron masukan dan keluaran. Setiap neuron tersebut akan disambungkan di antara satu sama lain melalui satu sambungan pemberat yang diibaratkan sebagai sinaps yang membenarkan atau menghalang hubungan di antara dua neuron. Kemudian, data yang telah diproses akan dihantar kepada neuron-neuron keluaran sebagai data keluaran kepada rangkaian neural tersebut. Fungsi dan prestasi rangkaian neural buatan ini bergantung kepada pemodelan neuron, seni bina rangkaian dan proses pembelajaran rangkaian neural tersebut.

2.4.2.1 Pemodelan Neuron

Pemodelan neuron bagi rangkaian neural buatan adalah diadaptasikan daripada pemodelan neuron McCulloch-Pitts (Haykin, 2001). Neuron merupakan medium pemprosesan dan penghantaran maklumat bagi satu-satu rangkaian neural buatan. Operasi yang dilakukan di dalam neuron akan menentukan fungsi dan pengoperasian sesuatu rangkaian neural. Pemodelan neuron adalah seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 2.2 (Haykin, 2001).

Berdasarkan kepada Rajah 2.2, tiga komponen penting yang merupakan pembentukan neuron adalah satu set sinaps atau sambungan rangkaian, satu penambah dan satu fungsi pengaktifan. Setiap sinaps bagi setiap neuron diberikan satu nilai pemberat. Anggap neuron k yang dianalisa mempunyai n bilangan sinaps atau n data masukan. Data atau isyarat x_j pada masukan sinaps ke- j yang disambungkan pada neuron k akan didarabkan dengan nilai pemberat sinaps ke- j tersebut, w_{kj} . Pendaraban ini menunjukkan kepentingan dan pengaruh nilai pemberat sinaps kepada keluaran pemprosesan bagi sesuatu neuron. Penambah pula berfungsi untuk menambah semua isyarat atau data x_j yang telah diberatkan atau didarabkan dengan pemberat sinaps masing-masing. Hasil tambah nilai-nilai tersebut akan dihantar kepada fungsi pengaktifan.



Rajah 2.2: Pemodelan neuron tak lurus.

Pemodelan neuron secara matematik berdasarkan Rajah 2.2 boleh ditakrifkan berdasarkan dua persamaan berikut:

$$u_k = \sum_{j=1}^n w_{kj} x_j \quad (2.1)$$

dan

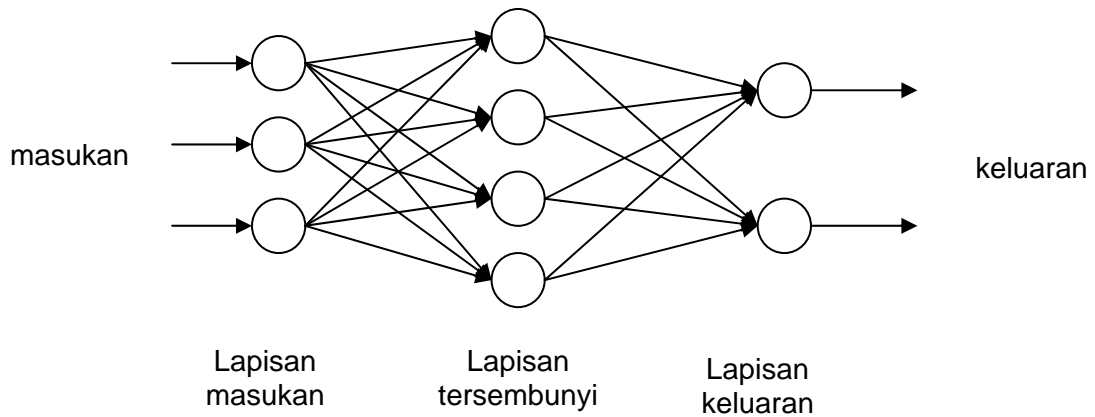
$$y_k = \varphi(u_k) \quad (2.2)$$

Berdasarkan persamaan (2.1) dan (2.2), u_k adalah keluaran penambah, x_j adalah data atau isyarat masukan pada sinaps ke- j , w_{kj} adalah pemberat sinaps ke- j untuk neuron k dan $\varphi(\bullet)$ adalah fungsi pengaktifan. Manakala, y_k dan n masing-masing adalah keluaran bagi neuron k dan bilangan masukan atau sinaps. Terdapat beberapa jenis fungsi pengaktifan yang sering digunakan iaitu fungsi penghad tetap (*hard limiter*), fungsi lurus sesecebis (*piecewise linear function*), fungsi sigmoid dan fungsi lurus (Haykin, 2001).

2.4.2.2 Seni Bina

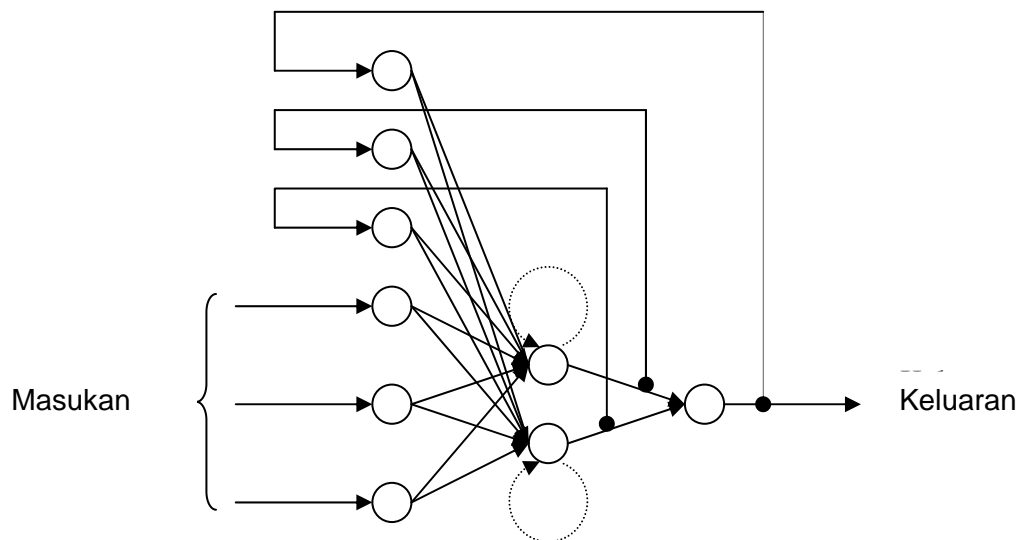
Rangkaian neural buatan ini dibezakan di antara satu sama lain oleh seni bina dan teknik atau algoritma pembelajarannya (Whelstead, 1994). Pemilihan seni bina rangkaian neural buatan yang sesuai adalah penting untuk menentukan kecekapan rangkaian neural tersebut. Kaedah penyambungan neuron-neuron di antara lapisan di dalam rangkaian pula akan membezakan satu rangkaian neural dengan rangkaian neural yang lain. Seni bina rangkaian neural terbahagi kepada dua iaitu rangkaian neural suap depan (*feedforward neural network*) dan rangkaian neural suap balik (*feedback neural network*) (Norgaard et al., 2000, Gallant, 1995, Haykin, 2001).

Rajah 2.3 menunjukkan gambarajah rangkaian neural suap depan. Rangkaian ini terdiri daripada tiga lapisan utama iaitu lapisan masukan, tersembunyi dan keluaran. Lapisan tersembunyi ini bertindak sebagai perantaraan di antara lapisan masukan dan lapisan keluaran. Rangkaian ini membenarkan data atau isyarat bergerak dalam satu arah sahaja. Ini bermakna tiada sambungan suap balik akan berlaku dan keluaran dari setiap lapisan tidak akan memberikan sebarang kesan kepada keluaran pada lapisan yang sama ataupun lapisan sebelumnya.



Rajah 2.3: Rangkaian neural suap depan.

Rajah 2.4 menunjukkan gambarajah rangkaian neural suap balik. Rangkaian ini membenarkan data atau isyarat bergerak pada pelbagai arah berdasarkan gelung pergerakan yang ditetapkan oleh rangkaian. Data atau isyarat boleh merambat ke hadapan dan boleh disuap balik untuk menjadi masukan kepada neuron sebelumnya.



Rajah 2.4 : Rangkaian neural suap balik.

Berdasarkan kepada seni bina di antara kedua-dua jenis rangkaian neural ini, rangkaian neural suap depan mampu memberikan keputusan lebih pantas berbanding rangkaian neural suap balik. Ini disebabkan oleh keupayaan rangkaian neural suap